



С учетом найденных среднеквадратичных оценок коэффициентов $\hat{\lambda}_j$ параметры импульса Пузырева вычисляются по формулам

$$\hat{\beta} = \frac{\hat{\lambda}_1}{2\tau}, \quad \hat{\omega} = \frac{\sqrt{\hat{\lambda}_2 - \tau\hat{\lambda}_1}}{\tau}, \quad \hat{a}_0 = \sqrt{\hat{\lambda}_3 + \frac{\hat{\lambda}_4^2}{\hat{\omega}^2}}, \quad \hat{\psi}_0 = \arctg\left(\frac{\hat{\lambda}_3\hat{\omega}}{\hat{\lambda}_4}\right). \quad (10)$$

Численно-аналитические исследования на основе имитационного моделирования показали высокую помехозащищенность разработанного численного метода оценки параметров сейсмической волны в форме импульса Пузырева, в основе которого лежит среднеквадратичное оценивание коэффициентов разностных уравнений, описывающих результаты наблюдений.

Литература

1. Рабинович Е.В., Ганчин К.С., Пупышев И.М., Шефель Г.С. Модель сейсмического импульса, возникающего при гидравлическом разрыве пласта // Математические структуры и моделирование, 2014. №4(32). С. 105-111.
2. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. М.: Финансы и статистика, 1981. – 304 с.
3. Зотеев В.Е. Численный метод нелинейного оценивания на основе разностных уравнений // Вест. Сам. гос. тех. ун-та: Сер. Физ.-мат. науки, 2018. Т. 22, № 4. С. 669-701.
4. Зотеев В.Е., Дубинина И.Н. Математическое моделирование сейсмической волны в форме импульса Берлаге на основе разностных уравнений / Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи» (27-30 мая 2019 г., Самара, Россия). Т. 1. Самара: СамГТУ, 2019. С. 304-308.

Э.А. Кильметов, А.И. Заико

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНВЕРТОРА ТОКА И ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЕГО МОДЕЛИ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

В настоящее время для нагрева различных металлов широко применяются высокочастотные преобразователи постоянного тока, выполненные на основе мостовой схемы параллельного инвертора [1]. Благодаря коммутации ключей силовой части, производимой в моменты перехода тока через нулевое значение, такие устройства обладают пониженными динамическими потерями и малым уровнем помех, генерируемых в питающую сеть. Принцип действия и схемотехника параллельных инверторов рассмотрены в литературе [2].

При практической реализации устройства зачастую возникают проблемы с выбором оптимальных значений параметров компонентов инвертора и силового колебательного контура. Обеспечение устойчивой работы преобразователя



и высокого качества выходных параметров, особенно при динамическом изменении колебательного контура в работе.

С целью снижения материальных и временных затрат на настройку реальных устройств силовой электроники целесообразно предварительно провести исследования модели выбранной схемы в пакете Micro-CAP. В статье рассматривается разработка модели параллельного инвертора тока ее анализ и сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными натурных испытаний.

В ходе работы были проведены предварительные расчеты основных параметров схемы с учетом исходных данных:

$U_d=520\text{В}$ напряжение питания инвертора;

$U_k=500\text{В}$ напряжение на контуре;

$I_d=55\text{А}$ рабочий ток инвертора;

$f=20\text{ кГц}$ – резонансная частота контура.

Параметры элементов параллельного инвертора тока были рассчитаны по методике, представленной в [2].

$L_2=2,5\text{мГн}$ индуктивность входного дросселя;

$C_2=2\text{мкФ}$ емкость коммутирующего конденсатора;

$L_3=50\text{мкГн}$ индуктивность коммутирующего дросселя;

$C_1=10\text{мкФ}$ емкость конденсатора резонансного контура;

$L_2=7\text{мкГн}$ индуктивность резонансного контура;

$R_1=0,2\text{ Ом}$ приведенное сопротивление нагрузки.

Моделирование. В среде Micro-CAP была разработана модель проектируемого параллельного инвертора тока рис. 1

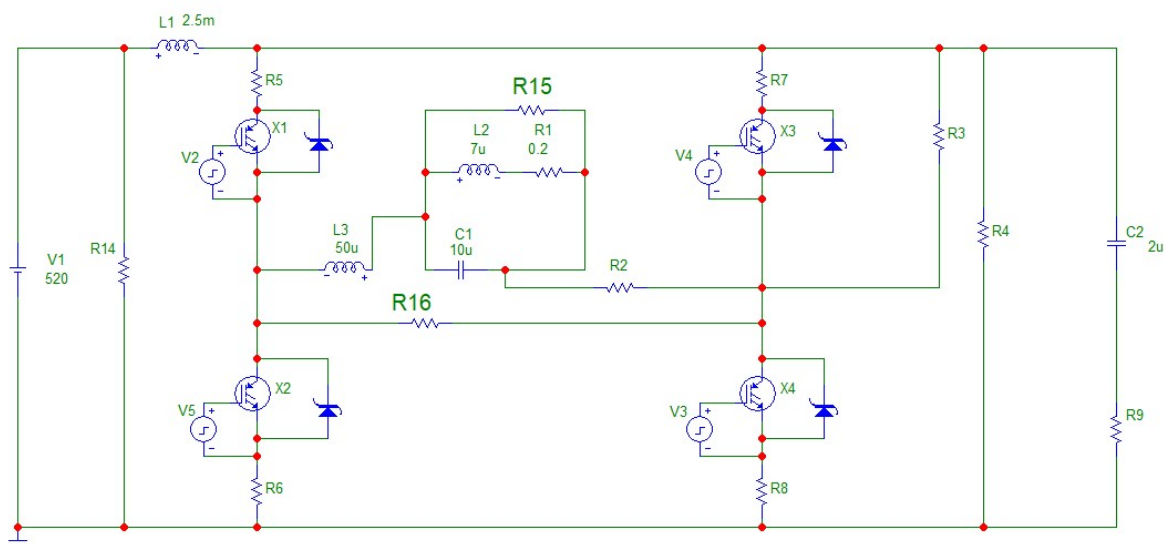


Рис. 1. Схема параллельного инвертора тока среде Micro-CAP

Элементы модели взяты из библиотеки программы Micro-CAP. Схема запитана от постоянного источника 520В. В качестве силовых ключей использованы модели IGBT транзисторов, которые переключаются прямоугольными импульсами управления с частотой 20 кГц, поступающими от источников V2 и



IV4. Между выключением одной пары транзисторов ($X1-X2$) и включением другой ($X3-X4$) для исключения сквозных токов введена временная задержка (dead time) $t_d = 2$ мкс. Резонансный контур представлен индуктором с индуктивностью $L2$ и внесенным сопротивлением $R1$, а также компенсирующим конденсатором $C1$. Индуктивность $L3$ и емкость $C2$ выполняют функцию коммутирующего контура параллельного инвертора тока, обеспечивая оптимальный режим переключения силовых ключей.

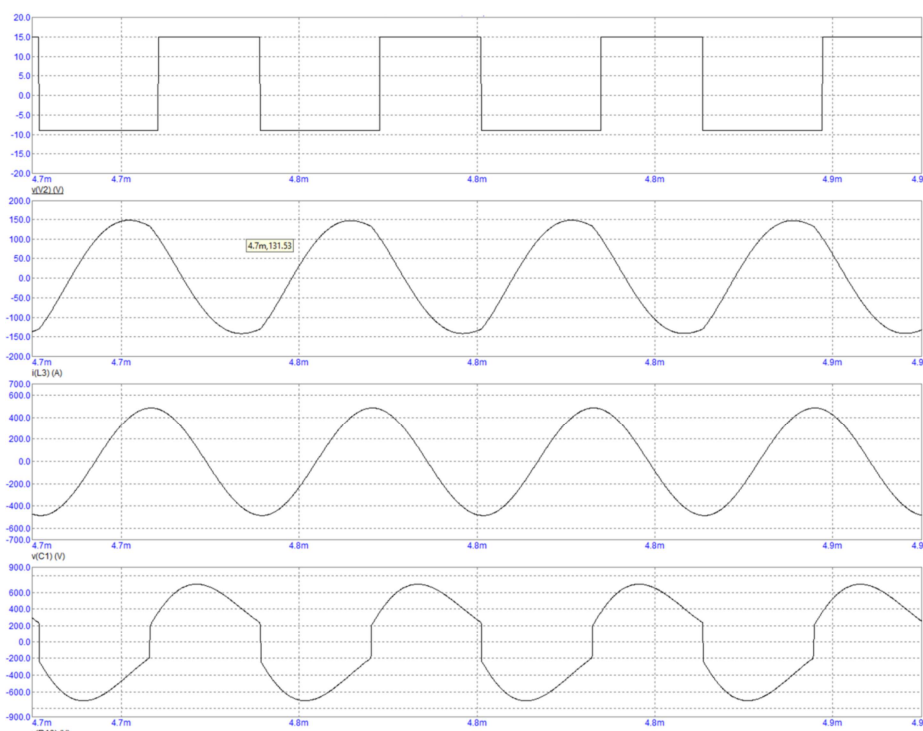


Рис. 2. Диаграммы токов и напряжений на элементах модели

Для экспериментальной проверки результатов аналитического расчёта и результатов моделирования исследована реальная установка параллельного инвертора тока с параметрами, соответствующими техническому заданию. Формирование импульсов управления транзисторами осуществлялось с помощью специализированного блока задающего генератора, питание инвертора производилось от промышленной трехфазной сети.

Силовые транзисторы с обратными диодами – CM200DY-24A, коммутирующий конденсатор – K78-20 2 мкФ. Коммутирующий дроссель выполнен в виде катушки с воздушным сердечником. Компенсирующий конденсатор Celest C500T 10мкФ. Индуктор в виде катушки с помещенной внутрь трубой в качестве нагрузки. Измерения параметров переходных процессов проводились с помощью цифрового осциллографа Актаком ADS-4574T (погрешность измерений – не более 2%).

Результаты расчётов, моделирования и экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

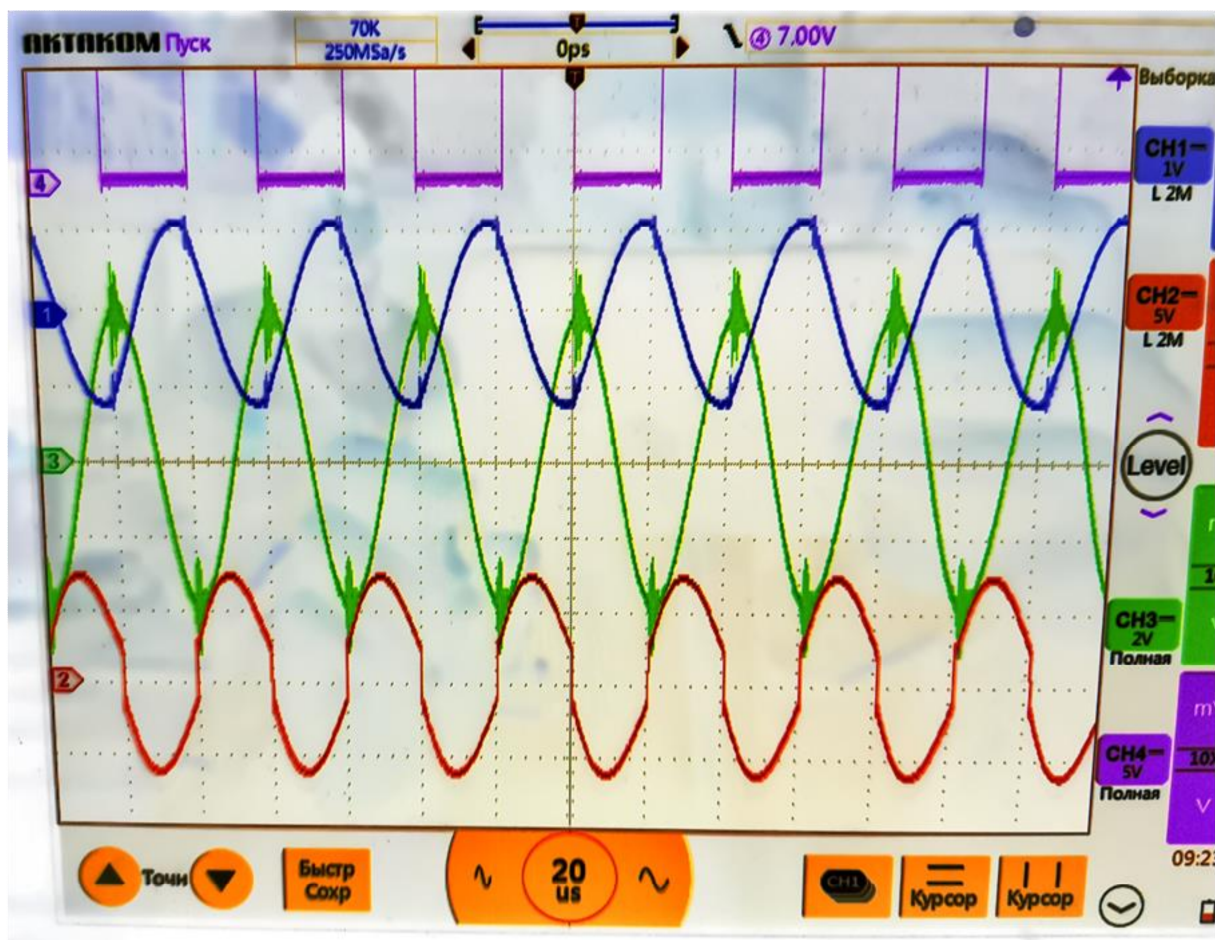


Рис. 3. Осциллограммы токов и напряжений на компонентах инвертора

Таблица 1

Значение параметров (амплитудные значения)	Результат моде- лирования	Результат экс- перимента	Относительная погрешность моделирования, %
Входной ток инвертора в цепи постоянного тока, А	55	56	1,8
Выходной ток инвертора, А	150	155	3,3
Напряжение на конденса- торе резонансного контура, В	500	515	3,0
Резонансная частота, кГц	20,1	20,2	0,5
Выходное напряжение в нагрузочной диагонали ин- вертора, В	650	670	3,1
Мощность установки, кВт	28,6	29,6	3,4

Вывод

1. Результаты моделирования отличаются от результатов эксперимента не более чем на 3,4 % для всех оцениваемых параметров, что свидетельствует об адекватности разработанной модели инвертора.



2. Модель правомерно использовать для проведения углубленных исследований по усовершенствованию созданного параллельного инвертора тока.

Литература

1. Слухоцкий, А. Е. Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов / А. Е. Слухоцкий, В. С. Немков, Н. А. Павлов, А. В. Бамунэр – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 328 с.
2. Шамов А. Н., Бодажков В. А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. Изд. 2-е, доп. и переработ. Л., «Машиностроение», 1974.. – 280 с.

М.К. Костянян

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ ПО ОБЛАКУ ТОЧЕК

(Самарский университет)

Моделирование 3D-объектов применяется на современном этапе практически во всех сферах деятельности. По этой причине автоматизация моделирования 3D-объектов является актуальной задачей. Одним из основных направлений моделирования 3D-объектов является моделирование 3D-объектов по облаку точек.

С середины прошлого века 3D-моделирование только начинало внедряться в различные системы. В основном 3D использовали узкие специалисты, а именно инженеры, работающие в сфере автоматизации и проектирования, занимающиеся математическим моделированием и анализом данных. В настоящее время развитие компьютерной графики и техники способствует постепенному заполнению рынка программным обеспечением для 3D-моделирования. Но все еще не все отрасли обладают подобными программными средствами. Поэтому рынок 3D-моделирования еще не достиг своего пика, и для работы в этой сфере остается еще значительное пространство [1].

Основным преимуществом автоматизации в этой сфере является предоставление пользователям возможности удобной работы с реальными объектами, их анализа и исследования в дистанционном режиме.

Существует множество отраслей, в которых работа с 3D-моделированием является либо ключевым моментом, либо существенно повышает продуктивность работы сотрудников. К таким сферам можно отнести науку, медицину, строительство, кинематограф, продажи и т.д. По этой причине и разрабатывается приложение по 3D-моделированию, которое найдет отклик у потенциальных клиентов из вышеприведенного перечня отраслей.

В настоящее время существует множество систем моделирования (3D Software Object Modeller, D Sculptor, RealViz ImageModeler, ReCap 360). В ос-